

水分对棕榈藤材弯曲性能的影响

刘杏娥¹, 吕文华^{2*}, 郑雅娴²

(1. 国际竹藤中心, 北京 100102; 2. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 选取国产单叶省藤材和黄藤材为研究对象, 分析了水分对棕榈藤材弯曲弹性模量、弯曲强度、比例极限应力、破坏应力(极值应力)、比例极限应变、破坏应变和韧性系数等性能指标的影响。结果表明, 藤材弯曲性能与其水分含量密切相关; 藤材抗弯弹性模量和抗弯强度, 在纤维饱和点以下, 随水分增多明显降低, 及至纤维饱和点后趋于稳定; 藤材比例极限应力受水分影响较小, 藤材极值应力在纤维饱和点前随含水率提高显著降低, 至纤维饱和点后趋于稳定; 藤材的比例极限应变随其水分含量不同无明显差异, 藤材破坏应变随其水分含量增多显著增大; 黄藤材比单叶省藤材材质更脆, 其饱湿含水率和饱水含水率更大, 韧性受水分影响也更显著; 通过增大或封存藤材水分, 能提高藤材弯曲性能, 改善藤材脆性。

关键词: 棕榈藤材; 水分; 抗弯性能; 韧性

中图分类号: S781.21

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)06-0934-05

Influence of moisture content on the bending properties of rattan cane

LIU Xing'e¹, LV Wenhua², ZHENG Yaxian²

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102;

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese academy of forestry, Beijing 100091)

Abstract: The bending elasticity modulus (MOE), bending strength (MOR), proportional limit stress and strain, failure stress and strain, and toughness coefficient of rattan canes under different moisture contents (MC) were determined to explore the influence of MC on the bending properties of *Calamus simplicifolius* and *Demonorops margaritae* rattan canes. Results showed that cane bending properties were closely related to its MC. Below the fiber-saturation point (FSP), the MOE and MOR declined significantly with increasing MC, thereafter the change was a little. The influence of MC on cane proportional limit stress was little, while the cane failure stress was great. Below the FSP, the failure stress reduced significantly with increasing MC, thereafter no obvious change was observed. In different MC, the proportional limit strain was relatively constant, but the failure deformation increased greatly with increasing MC. The influence of MC on the toughness index of *D. margaritae* cane was much bigger than that of *C. simplicifolius* cane; the more brittle the rattan cane was, the more significant influence was. It was suggested that increasing or fixing cane moisture could improve its bending performance and restrain its brittleness.

Key words: rattan cane; moisture content; bending property; toughness

棕榈藤林在维持天然生态环境的条件下, 能提供与树木相同甚至更多的使用效益, 在一定程度上保护森林资源, 具有良好的生态效益^[1-2]。原藤是仅次于木材和竹材的重要非木材林产品, 具有很高的经济价值和生态效益。棕榈藤材具有良好的强度、

韧性、弹性和易于造型等特性, 是室内装饰、家具制作和工艺器具编制的优良材料, 具有很强的装饰性和实用性^[3]。但藤产品在使用过程中长期受热或过分干燥, 会出现断裂、脆裂等现象, 使产品使用年限大大缩短、使用范围受到限制, 既浪费有限藤

收稿日期: 2014-04-24

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题“棕榈藤材增强技术研究”(2012BAD54G010303)和“棕榈藤装饰材料多效防护技术”(2012BAD23B010402)共同资助。

作者简介: 刘杏娥, 博士, 副研究员。E-mail: liuxe@icbr.ac.cn

* 通信作者: 吕文华, 博士, 副研究员。E-mail: lwhlily@caf.ac.cn

材资源, 也制约藤材产业发展^[4]。相对木、竹材而言, 藤材研究十分薄弱, 而且藤材试样的制取、加工和性能测试等缺乏统一方法^[5-6]。这严重阻碍藤材性能的系统研究和藤材工业发展。解析水分对藤材弯曲性能的影响, 解决藤材在使用中的脆裂、断裂等问题, 延长藤材及其制品的性能和寿命, 优化产品结构 and 工艺, 开发高附加值产品, 意义重大。

1 材料与方法

1.1 材料

棕榈藤材采自广西省凭祥市英阳林场, 约 15 年生, 主要攀生于杉木; 采收后去除叶鞘, 气干。黄藤 (*Daemonorops margaritae*) 材, 藤长 10~20 m, 直径 15~20 mm, 节间长度 15~25 cm。单叶省藤 (*Calamus simplicifolius*) 材, 藤长 20~35 m, 直径 15~25 mm, 节间长度 15~25 cm。取样方案: 沿每根藤条离基 2 m 处, 向上依次制取不含藤皮的节间藤片试材; 藤片尺寸为 160 mm (长) × 10 mm (宽) × 10 mm (厚)。

为了考察水分对藤材弯曲性能的影响, 将藤片气干试材 (6%~8%) 分别进行绝干、气干、饱湿和浸水等调湿处理。每组重复 30 次。绝干处理, 在 103℃ 鼓风干燥机中烘至质量恒重; 气干处理, 放置于 20~30℃、相对湿度为 20%~50% (北京 9-12 月) 的大气环境中至恒重。饱湿处理, 放置于 20~30℃、相对湿度 100% 的干燥器中至质量恒重; 饱水处理, 将试件充分浸水至下沉。

1.2 方法

采用美国产 Instron5582 万能力学试验机, 加载辊和支承辊直径均为 10 mm, 跨高比 12, 进行中间加荷的三点静载弯曲试验。

2 结果与分析

2.1 水分对抗弯测试曲线的影响

图 1 是单叶省藤和黄藤不同含水率试材的代表性抗弯应力-应变图, 可见水分对藤材塑性有着重大影响。藤材随水分含量的增多, 抗弯应力-应变曲线起始直线上部分的斜率显著减小, 即抗弯弹性模量显著减小, 抗弯强度也显著减小。绝干藤材在较小变形情况下就发生破坏, 随水分含量的增多, 藤材破坏前的变形越来越大, 2 种饱湿材都经历了 10% 以上的比变形才弯曲破坏。由图 1 还可以看出, 单叶省藤饱水材即使在弯曲变形达到 17% 时也难以破坏。水可作为塑化剂对藤材微纤丝起着润胀和软化作用^[7], 使微纤丝容易滑动, 从而有利于藤材弯

曲造型。因此, 通过浸泡处理增大藤材水分, 能改善藤材弯曲性能。

2.2 水分对抗弯弹性模量的影响

黄藤材和单叶省藤材在不同含水率下的抗弯弹性模量 (MOE) 如图 2 所示。随藤材含水率增大, 2 种藤材的 MOE 都急剧下降, 当藤材含水率增至纤维饱和点附近, 随水分含量进一步增加, 藤材 MOE 不再明显降低, 呈一定稳定状态。可见, 藤材 MOE 与含水率密切相关。由于水分会破坏纤维素、半纤维素和木质素复合物中的部分氢键, 使得微纤丝运动更充分, 细胞壁趋于软化^[8], 因此, 水处理可降低藤材 MOE, 提高藤材弯曲性能。

由图 2 还可以看出, 水分增多使藤材 MOE 明显降低, 饱湿状态处存在明显曲线拐点。单叶省藤材 MOE 比黄藤材 MOE 更大。本研究结果表明, 如果把气干状态时的抗弯弹性模量作为 1, 单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的 MOE 分别为 1.24 和 1.31, 藤材饱湿状态时的 MOE 分别为 0.61 和 0.54, 藤材饱水状态时的 MOE 分别为 0.47 和 0.48。

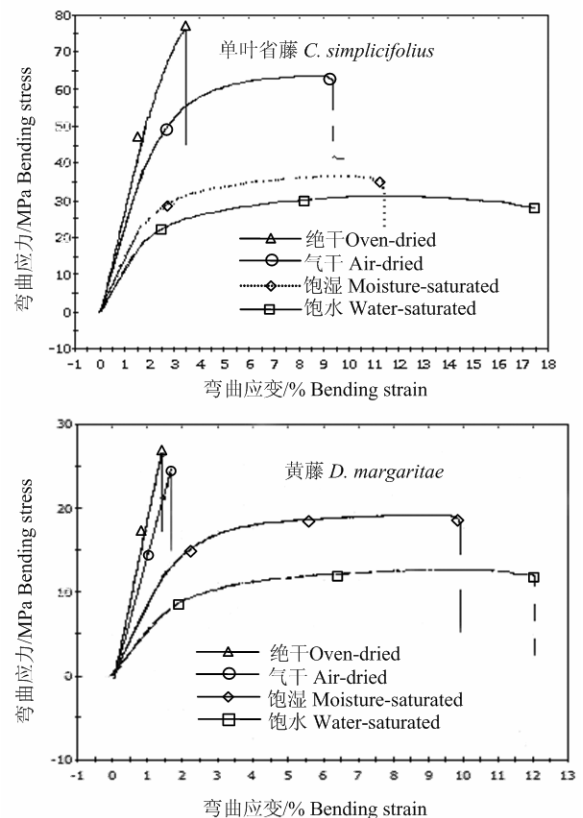


图 1 水分对藤材抗弯应力-应变曲线的影响

Figure 1 Influence of moisture content on bending stress-strain curve

在试验中发现, 2 种藤材在相同条件下达到平衡时的平均饱湿含水率和饱水含水率极为不同。单

叶省藤材和黄藤材对水分的适应性有明显差异。在100%的相对湿度和室温条件下,单叶省藤饱湿材的平衡含水率即纤维饱和点约为24%,而黄藤饱湿材的平衡含水率即纤维饱和点高至70%。经充分浸泡至下沉于水中后,单叶省藤饱水材的平均含水率约为157%,而黄藤饱水材的平均含水率则高至360%。而木材的纤维饱和点约为23%~32%,通常以30%作为木材纤维饱和点含水率。这表明藤材与木材,以及不同藤材之间,对水分的适应性都有着很大不同,有待进一步系统深入的研究以解析其结构和性能的不同。

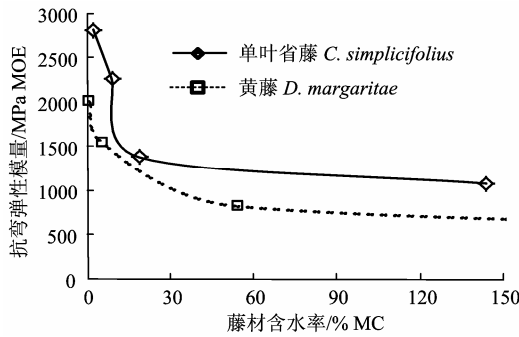


图2 水分对藤材抗弯弹性模量的影响
Figure 2 Influence of moisture content on MOE

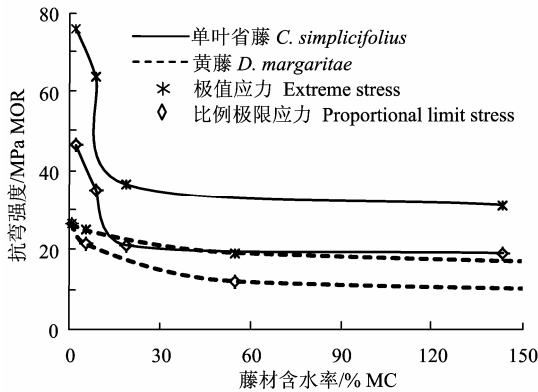


图3 水分对藤材比例极限应力和极值应力的影响
Figure 3 Influence of moisture content on proportional limit stress and extreme stress

2.3 水分对抗弯强度的影响

试件达到最大应力时的荷载叫极限荷载,它的物理意义是超过此极限后,即使在荷载减小的情况下,变形将继续加大;而试件完全破坏时的荷载称为破坏荷载。与木材相似^[9-10],水分含量少的绝干藤材和气干藤材的极限荷载与破坏荷载两者一般是重叠的,而水分含量多的饱湿藤材和饱水藤材两者往往并不重合,破坏荷载通常低于极限荷载。

由图3所示,藤材抗弯强度受水分含量变化的

影响规律与抗弯弹性模量基本一致,水分含量对比例极限应力的影响比对极值应力的影响小。随藤材含水率增加,MOR明显下降,及至纤维饱和点渐趋稳定,随着含水率进一步增加,MOR不再有明显变化。水分可作为增塑剂^[11],对纤维素非结晶区、半纤维素和木质素进行润胀,为微纤丝分子运动提供自由体积空间,减小分子运动所需能量。水分减少,则微纤丝摩擦增大,木质素软化点升高表现为藤材刚度增大,强度提高,弯曲性能下降。

如果把气干状态时的比例极限应力作为1,则单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的比例极限应力分别为1.24和1.74,饱湿状态时的比例极限应力分别为0.60和0.62,饱水状态时的比例极限应力分别为0.54和0.59。如果把气干状态时的破坏强度作为1,则单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的破坏强度分别为1.19和1.01,饱湿状态时的极限强度分别为0.57和0.56,其破坏强度小;饱水状态时的极限强度为0.49和0.51,其破坏强度更小。

2.4 水分对弯曲变形的影响

比例极限应变是指荷载达到比例极限应力时材料发生的变形,极值应变是指材料发生破坏时发生的最大变形。本研究中单叶省藤和黄藤的饱湿材和饱水材,变形达到10%以上也未能破坏。因此,本研究中的极值应变,对于水分含量少的绝干藤材和气干藤材是指藤材破坏时的最大变形,对于水分含量多的饱湿藤材和饱水藤材则是指达到足够挠度后撤去荷载时的变形。

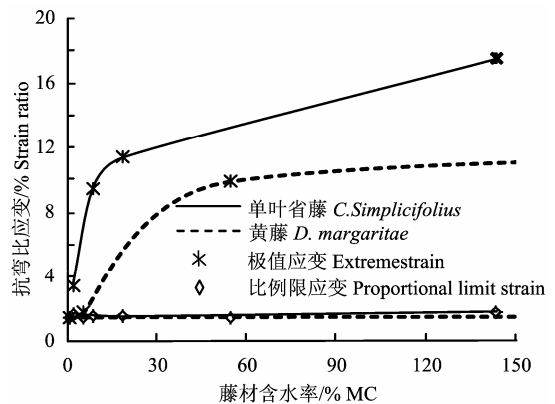


图4 水分对藤材比例极限应变和极值应变的影响
Figure 4 Influence of moisture content on proportional limit strain and extreme strain

不同水分含量的藤材比例极限应变和极值应变,如图4所示,随含水率提高两者都呈增大趋势。在相同水分含量情况下单叶省藤材的比例极限应变

和极值应变都明显比黄藤材的大。方差分析结果表明, 2 种藤材在不同含水率下的比例极限应变值的差异都不明显, 即藤材在不同含水率情况下的弹性变形量一致。分析认为这是由于在常温下水分并不能使藤材内的微纤丝发生软化^[7], 仍保持玻璃状态, 使藤材弹性变形量保持稳定, 从而使比例极限应变变化不大。由图 4 可以看出, 2 种藤材的破坏应变或极值应变均随水分增多明显增大, 这是由于水分增多, 藤材受到的膨润作用更大, 内聚力减小, 纤维素分子更容易发生滑移, 使塑性变形增大^[8]。当藤材达到纤维饱和点, 即藤材纤维受到充分膨润后, 随水分进一步增多, 其极值应变则变化不大, 趋于稳定。

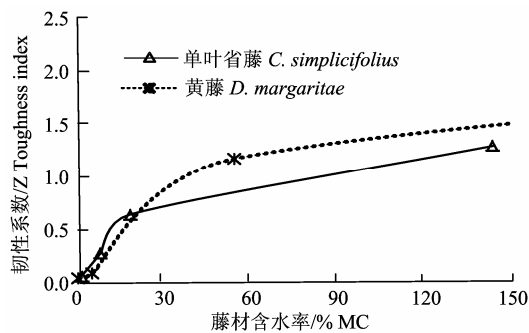


图 5 水分对藤材韧性系数的影响
Figure 5 Influence of MC% on toughness

藤材比例极限应变受水分含量的影响比极值应变受水分含量的影响小(图 4)。如果把气干状态时的比例极限应变作为 1, 则单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的比例极限应变分别为 1.07 和 1.09, 饱湿状态时分别为 1.01 和 1.02, 饱水状态时分别为 1.04 和 1.07, 可见, 比例极限应变受水分含量影响的小。如果把气干状态时的破坏应变作为 1, 则单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的破坏应变分别为 0.46 和 0.70, 饱湿状态时的极值应变分别为 1.31 和 4.39, 其破坏应变更大; 饱水状态时的极值应变分别为 1.91 和 5.42, 其破坏应变更大。

2.5 水分对韧性系数的影响

韧性系数 (Z_b) 是破坏应变与比例极限应变之差与破坏应力与比例极限应力之差的比值, 可用来表征木材塑性区域的应力-应变等关系^[12]。图 5 是单叶省藤和黄藤的去皮藤片试材在不同含水率下的韧性系数。由于饱湿藤材和饱水藤材试验时常常超过 10% 的变形仍不能破坏, 取其极值强度作为破坏强度, 试验时的最终应变作为破坏应变。因此, 对于

水分含量多的饱湿材和饱水材, 计算所得到的韧性系数偏小。藤材韧性系数随其水分含量发生明显变化, 水分越多, 藤材韧性系数越大, 这是由于水分在微纤丝之间可以起到润滑作用^[13], 水分增多, 有利于弯曲时微纤丝间的滑动, 使得藤材塑性区域的应变增大, 但藤材破坏应力和比例极限应力都减小; 随水分减少, 微纤丝间摩擦增大, 使得藤材弯曲性能下降。在纤维饱和点前, 随水分增多, 韧性系数增大很快, 之后, 变化较小, 渐趋稳定。这表明自由水对藤材塑性影响较小, 主要是使微纤丝发生润胀的吸着水或吸附水对藤材塑性增大起着重要作用。通过一定的改性手段, 使藤材适当水分封存于藤材内部, 则可有效提高藤材弯曲性能, 在一定程度上抑制其脆裂。

由图 5 可知, 黄藤材的韧性系数受水分影响比单叶省藤材的韧性系数受水分影响大。研究结果表明, 如果把气干状态时的韧性系数作为 1, 则单叶省藤材和黄藤材绝干状态时的韧性系数分别为 0.30 和 0.33, 饱湿状态时的分别为 ≥ 3.41 和 ≥ 11.78 , 饱水状态时的分别为 ≥ 5.24 和 ≥ 19.79 。黄藤材的藤皮和藤芯的力学性能差异显著, 藤芯十分脆弱。而单叶省藤材的藤皮和藤芯的性能差异较小, 藤芯仍柔韧性良好。研究结果表明, 脆性越大的藤材, 其韧性受水分含量影响越显著。

3 结论

分别通过弯曲弹性模量、弯曲强度、比例极限应力、破坏应力(极值应力)、比例极限应变和破坏应变等指标, 对单叶省藤材和黄藤材的弯曲性能受水分含量的影响进行了评估, 并且采用韧性系数对藤材塑性区域的应力-应变关系进行了表征。研究表明: 藤材弯曲性能与其水分含量密切相关。藤材抗弯弹性模量和抗弯强度, 在纤维饱和点以下, 随水分增多明显降低, 及至纤维饱和点后变化很小。藤材比例极限应力受水分影响较小, 极值应力受水分影响很大, 在纤维饱和点前随水分增多显著降低, 及至纤维饱和点后变化不明显。在不同水分含量下, 藤材比例极限应变即弹性变形量相对恒定; 但破坏应变差异明显, 随水分增多呈显著增大。藤材种类不同, 对水分适应性不同, 黄藤材的饱湿和饱水含水率都比单叶省藤材更大。黄藤材比单叶省藤材脆性大, 其韧性受水分影响更显著。分析认为在藤材加工利用过程中, 通过增大或封存藤材适当水分, 能提高藤材弯曲性能, 改善藤材脆性。

参考文献:

- [1] 江泽慧, 吕文华, 任海青. 棕榈藤材性研究综述[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 35-40.
- [2] 费本华, 汪佑宏, 江泽慧, 等. 棕榈藤的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(2): 16-171.
- [3] 徐鑫, 汪佑宏, 刘杏娥, 等. 黄藤和单叶省藤纤维形态特征的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(3): 512-516.
- [4] 刘杏娥, 徐鑫, 汪佑宏, 等. 改性处理对黄藤及单叶省藤主要物理力学性质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(1): 61-66.
- [5] 吕文华, 刘杏娥, 汪佑宏. 棕榈藤材的抗拉强度测试方法[J]. 木材加工机械, 2010, 21(1): 20-23.
- [6] 吕文华, 刘杏娥. 棕榈藤材的抗弯强度测试方法[J]. 木材加工机械, 2012, 23(1): 1-5.
- [7] Ishimaru Y, Arai K, Mizutani M, et al. Physical and mechanical properties of wood after moisture conditioning[J]. Journal of Wood Science, 2011, 47(3): 185-191.
- [8] Stark N. Influence of moisture absorption on mechanical properties of wood flour-polypropylene composites[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2001, 14(5): 421-432.
- [9] 江泽慧, 吕文华, 费本华, 等. 3种华南商用藤材的解剖特性[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 121-126.
- [10] Bhat K M, Thulasidas P K. Strength properties of ten South Indian canes[J]. Journal of Tropical Forest Science, 1992, 5(1): 26-34.
- [11] 虞华强, 赵荣军, 刘杏娥, 等. 木材蠕变模拟研究概述[J]. 林业科学, 2007, 43(7): 101-105.
- [12] 李大刚, 徐永吉, 蒋本浩. 温度对意杨木材弯曲性能的影响[J]. 林业科技开发, 1994, 35(2): 29-31.
- [13] Abasolo W P, Yoshida M, Yamamoto H, et al. Microfibril angle determination of rattan fibers and its influence on the properties of the cane[J]. Holzforschung, 2000, 54 (4): 437-442.